Quantitative investigation of erosion and sedimentation of forest roads in Lordegan County using SEDMODL

Sayed Naeim Emami[a,*], Saleh Yousefi[b] Mohammad Nekoeimehr[c]
[a] *Associate professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Shahrekord, Iran.*
[b] *Assistant professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Shahrekord, Iran.*
[c] Instructor: *Soil Conservation and Watershed Management Research Department Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Shahrekord, Iran.*

Research Full Paper
Article History (Received: 2024/04/9 Accepted: 2024/06/13)

Extended abstract

1- Introduction

The road sediment delivery model (SEDMODL) and geographic information system were used to estimate the amount of average annual sedimentation caused by the forest roads network in the oak forests of the west of the country in Chaharmahal and Bakhtiari provinces. In this research, Bideleh forest roads in Lordegan County with a length of 5828 meters selected. The area maps including geology, road networks, slope, and rainfall and drainage density were prepared and digitized in the Arc GIS 10.8 software, and also during field visits, the type, age and traffic of the study roads were determined. The formules used in SEDMODL are based on mathematical and quantitative relationships between erosion factors such as the type of road, road traffic, and parent materials used in road construction, road surface condition, road longitudinal slope, vegetation cover, excavation trench, the amount of rainfall in the area and the distance from the waterway. Also, in this research, in order to measure the amount of erosion and sediment in the field, 30 erosion markers were installed in different parts of the study roads, and during one year, their changes were measured with the help of a laser meter with an accuracy of 0.02 mm. The average soil erosion was estimated 4 mm per year based on the measurements. According to the SEDMODL model, the amount of erosion in Bidleh road is 2068 tons per year and the amount of sedimentation is 234 tons per year according to the SEDMODL model. Also, the analysis of hot spots showed that 39.8% of Bideleh forest roads have very high erosion.

2- Methodology

Sediment production from a road is usually influenced by three types of water flow on the road surface, soil removal trench and roadside waterways. In fact, the model used in this research (SEDMODL) is based on these three factors (Akay et al. 2008). Therefore, the total precipitation in tons per year from each road section is calculated based on the equation 1.

(Equation 1) Total Sediment (t/year) = (TS+CS)*Af

In the above equation, TS is sediment production from road surface and roadside waterways, CS is sediment production caused by soil removal trench and Af is the age factor of the road. According to equation 2, TS is also affected by road length (Lr), road width (W), geological erosion rate (GEr), road surface material (Sf), traffic (Tf), road slope (Gf), rainfall. (Pf) and sediment delivery factor (Df).

(equation 2) TS = Lr* Wr*GEr* Sf*Tf* Gf*Pf*Df

Also, sediment production caused by soil removal trench CS according to equation 3, a function of geological erosion rate factors (GEr), vegetation and stone cover around the road (CSf), soil removal trench height (CSh), road length (Lr) and the sediment delivery factor (Df).

(equation 3) CS = GEr*CSf*CSh* Lr*Df

* **Corresponding Author: emami1348@yahoo.com**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

Sediment production of the road during the first and secondry years of construction until the excavation trench and embankment pile is properly fixed by vegetation has its maximum amount. In SEDMODL, the effect of the road age factor (Af) is 10 in the first year of construction and 2 after two years. The values for other erosion factors was obtained from the provided tables of the model which were calculated based on previous researches (Akay et al. 2008; Naghdi et al. 2017).

For field measurement of erosion on the forest road, 30 wooden rods were installed around the road. The wooden rods were installed in the sections perpendicular to the road in different conditions of geology, vegetation and the slope of the road and on both sides of the road at intervals of 5 meters, 15 meters and 25 meters. Then, the height of each rod was measured using a laser meter with an accuracy of 0.02 mm. The height of each rod was measured in 5 times and the average of these values was determined as the height of the rod in each stage.

3- Results

Chaharmahal and Bakhtiari province with an area of about 1,632,835 hectares is located between 31° 9′ to 32° 48′ north latitude and 49° 28′ to 51° 25′ east longitude. Bidele road is located 30 kilometers west of Lordegan city and in the western part of Bideleh village of this city. The length of road study is 5828.6 meters. This road has the dirt and sand bed, with an average width of 4.5 meters and extends in a forested and mountainous area in order to access telecommunication towers and power transmission lines.

In this research, the required maps including geology, road, slope, rainfall and waterway network were prepared by using topography, geology, satellite images and field visits related to relevant organizations. In the next stage, during field investigations, factors such as road surface, traffic, height of excavation trench were extracted. The digital layer of waterways was extracted from the existing topographical map in the area and possible errors were corrected by field controles. Also, the slope map of the area was determined using the digital elevation model prepared from the topographic layer. In order to prepare the precipitation map, the rainfall annual average near the roads was used and the annual precipitation layer was prepared for each region. In this way, the geological erosion rate factor GEr, the traffic factor Tf, the road slope factor Gf, the precipitation factor Pf, the sediment delivery factor Df, the vegetation and stone cover factor around the road CSf and the height factor of the excavation trench Chf for the study road of Bideleh were calculated as vectors and was determined numerically. Based on the prepared factors related to the model that was prepared digitally and on the study road, finally, the sediment production of the road surface and the sediment production of the excavation trench were determined and extracted separately (Table 1).

Table 1: Total sedimentation estimation of SEDMODL sediment delivery model on Bidleh road

Road Name	Road length	Af	TS (ton/year)	CS (ton/year)	Total Sediment (ton/year)
Bidleh	5828	2	103.8	13.3	234

4- Discussion & Conclusions

In order to study and investigate the role and influence of the measured parameters and input to the model on the rate of erosion, Pearson's correlation test was used and its results are presented in Table (2). As the results of the statistical correlation test show, there is the strongest significant correlation between the erosion rate of the whole road with geological factor, road width and precipitation factor. As it was mentioned, with the construction of the road, the vegetation and soil of the areas around the road will also change due to soil removal. To compensate these changes and return to the initial conditions, the ecosystem needs time. It is obvious that the longer the life of these changes, the closer the ecosystem is to a stable state, and the amount of soil erosion and destruction is less.

Table 2: Pearson correlation analysis results

		TotalE	GEr	CSh	CSf	Pf	Gf	Tf	Sf	W	Lr
TotalE	Pearson Correlation	1	.882**	.250**	.079	.393**	.269**	.328**	.247**	.493**	-.080
	Sig.		.000	.000	-.064	.000	.000	.000	.000	.000	-.062
	N	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370

**. Correlation is significant at the 0.01 level

*. Correlation is significant at the 0.05 level

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

This tool is used for points that have a numerical characteristic (such as the rate of soil erosion or sedimentation) or the weight of complications. The result will be a map that shows hot and cold spots that have significant statistical characteristics. Analyzes are based on Getis ord GI statistics. In this research, this analysis was used to identify areas with high erosion rates (hot spots of road erosion). Also, the results of this part of the research showed that with a confidence level >95%, 39.8% (2321 meters) of the road is identified as areas with high erosion production and as hot spots. Based on the prepared maps in this part of the work, it was found that the soil erosion rate is higher in the areas with high slope and geologically sensitive, and these parts play the biggest role in the production of sediment in the area.

Key Words: Soil loss, Zagros forests, Road construction, Mathematical model.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

Cite this article: Emami, S. N., Yousefi, S., & Nekoeimehr, M. (2024). Quantitative investigation of erosion and sedimentation of forest roads in Lordegan County using SEDMODL. *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2023; 13 (4) :41-57*. http//doi.org/

Emami, Saleh Yousefi Mohammad Nekoeimehr
DOI: http//doi.org/

Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

بررسی کمی میزان فرسایش و رسوب جاده‌های جنگلی شهرستان لردگان با استفاده از مدل SEDMODL

سید نعیم امامی*: *دانشیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران.*

صالح یوسفی: *استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران.*

محمد نکویی مهر: *مربی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران.*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۴)

DOI: http//doi.org/

چکیده

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات ناشی از جاده‌سازی‌های غیراصولی، وقوع اشکال مختلف فرسایش از قبیل فرسایش آبکندی و توده‌ای وتشدیدآن ها در اطراف جاده‌ها است. در پژوهش حاضر از مدل تحویل رسوب جاده (SEDMODL) و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تخمین میزان و درصد رسوب‌دهی متوسط سالانه ناشی از شبکه جاده‌های جنگلی در جنگل‌های بلوط غرب کشور در استان چهار محال و بختیاری استفاده شد. در این تحقیق از جاده‌های جنگلی بیدله واقع در شهرستان لردگان به طول ۵۸۲۸ متر که به صورت خاکی و عمدتا جهت سهولت دسترسی به مناطق جنگلی، مسکونی (روستا) ، عشایری و تفریحی در مناطق جنگلی استان چهار محال و بختیاری احداث شده است به عنوان منطقه مطالعاتی استفاده شد. ابتدا نقشه‌های مورد نیاز شامل زمین‌شناسی، مسیرجاده، شیب، بارندگی و تراکم زهکشی تهیه و در محیط نرم افزار Arc GIS 10.8 رقومی شد و همچنین طی بازدیدهای میدانی جنس، سن و ترافیک جاده‌های مطالعاتی تعیین گردید. فرمول‌های به‌کارگرفته شده در SEDMODL بر پایه روابط ریاضی و کمی بین عامل‌های فرسایش از قبیل نوع استفاده از جاده، ترافیک جاده، مواد مادری به کار گرفته شده در احداث جاده، وضعیت سطح جاده، شیب طولی جاده، پوشش گیاهی ترانشه خاک‌برداری، میزان بارش منطقه و میزان فاصله از آبراهه طراحی شده‌اند. همچنین در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری میدانی میزان فرسایش و رسوب در قسمت‌های مختلف جاده‌های مطالعاتی ۳۰ پیکه فرسایشی نصب و در طول یک سال میزان تغییرات آنها به کمک متر لیزری با دقت ۰/۰۲ میلیمتر اندازه‌گیری شد و میانگین فرسایش خاک بر اساس اندازه‌گیری صورت گرفته ۴ میلیمتر در یک سال برآورد شد. میزان فرسایش بر اساس مدل SEDMODL در جاده بیدله ۲۰۶۸ تن در سال و میزان رسوب دهی کل بر اساس مدل SEDMODL 234 تن در سال است. همچنین آنالیز لکه‌های داغ نشان داد ۳۹/۸ درصد از جاده‌ها دارای تولید فرسایش بسیار زیاد می باشند.

واژگان کلیدی: تلفات خاک، جنگل‌های زاگرس، راه‌سازی، مدل ریاضی

* نویسندهٔ مسئول: emami1348@yahoo.com

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

۱ـ مقدمه

راه‌های ارتباطی و جاده‌ها به عنوان شاهرگ‌های حیاتی یک جامعه محسوب می‌شوند. به‌طوری که در صورت عدم توسعه و گسترش آن‌ها، حیات و توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه مختل خواهد شد. از سوی دیگر جاده‌سازی به عنوان یکی از عوامل تخریب عرصه‌های منابع طبیعی به‌شمار می‌آید به‌گونه‌ای که امروزه این موضوع به عنوان یکی از معضلات اساسی حوزه‌های آبخیز مطرح است (Hawks et al, 2022 & Yousefi et al, 2016 & Sidle et al, 2006). جاده سازی‌های غیر اصولی با از بین بردن یگانگی طبیعت، فروپاشی چرخه حیات کوهستان و حجم زیاد خاک‌برداری منجر به نابودی زیستگاه‌های جانوری و گیاهی، کاهش ارزش‌های زیباشناسی و آسیب دیدگی مناطق حساس می‌شوند (Vahabzadeh et al, 2015 & Barber et al, 2014). یکی از بزرگ‌ترین مشکلات ناشی از جاده‌سازی، ایجاد و افزایش اشکال مختلف فرسایش از قبیل فرسایش آبکندی و توده‌ای در اطراف جاده‌ها است (Cerdà, 2007& Gayen et al, 2019& Cao et al, 2021). علت اصلی آن از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب ساختمان خاک، افزایش سرعت رواناب و ناپایدار کردن شیب دامنه است (Rijsdijk et al, 2007& Yousefi et al, 2016). در جریان احداث جاده، سطح وسیعی از عرصه جنگل‌ها و مراتع در طول و حاشیه مسیر آن تخریب شده و حجم بسیاری زیادی خاک و سنگ از محل خود جا به جا شده یا بر روی اراضی مجاور ریخته شده که موجب مضاعف شدن شدت تخریب محیط زیست می‌شود و یا به طور مستقیم وارد آبراهه‌ها و رودخانه‌ها شده و در نهایت به صورت رسوب وارد مخازن سدها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و دریاها گشته و حتی با رسویگذاری در بستر رودخانه‌ها باعث تغییر مورفولوژی آن‌ها و ایجاد فرسایش رودخانه می‌شود (Burroughs and King 1989& Sun anad McNulty 1998& Varol et al, 2019). علاوه بر این جاده‌سازی عاملی در راستای فراهم شدن زمینه برای وقوع سایر رخساره‌های فرسایشی است (Akay et al, 2008& Parsakhoo et al,2014& Moayedi et al, 2019). میزان تخریب محیط زیست و عرصه جنگل‌ها و مراتع در اثر جاده‌سازی بستگی به عوامل گوناگونی از جمله نوع جاده، توپوگرافی منطقه، حساسیت خاک‌ها و سازندهای زمین شناسی مسیر جاده دارد (Conroy et al, 2004). در سال‌های اخیر فعالیت‌های ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته، زیرا احداث جاده‌ها افزایش نگرانی‌ها در مورد تأثیرات کوتاه مدت و بلند مدت بر محیط زیست و تخریب را به‌دنبال دارد (Barber et al, 2014). از این‌رو در طراحی شبکه جاده نه تنها میزان هزینه‌ها بلکه مدیریت صحیح آب و خاک نیز باید منظور گردد (Seutloali and Beckedahl, 2015& Solgi et al, 2021). Beckedahl and Seutloali (2015) به مرور مطالعات انجام شده برروی فرسایش جاده‌ای در دنیا پرداختند و بیان نمودند که از بین بردن پوشش گیاهی توسط جاده‌سازی یکی از عوامل مهم تشدید فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز است. Gumus and Yorulmaz (2022) در مطالعه‌ای به مقایسه مدل‌های WEEP، Road Batch Model و ABAG در برآورد فرسایش خاک سطحی در قسمت خاک‌ریزی جاده‌های جنگلی ترکیه پرداختند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که برای مدل‌های WEEP و ABAG میزان هدر رفت سالانه خاک ۷/۹۳ و ۱۵/۵ تن در سال در هکتار می‌باشد. همچنین در داخل کشور اسداللهی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای در حوزه‌آبخیز آموزشی- پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس با استفاده از مدل SEDMODL و سامانه اطلاعات جغرافیایی به بررسی رسوبزایی جاده‌های بین زمین‌های کشاورزی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان فرسایش ناشی از این شبکه جاده بدون در نظر گرفتن

* نویسندهٔ مسئول: emami1348@yahoo.com

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

نرخ تحویل رسوب در حدود ۴۲۳/۹ تن در سال است. با درنظر گرفتن نرخ تحویل رسوب بر اساس فاصله از آبراهه، رسوب‌دهی از شبکه جاده در حدود ۱۲/۸۵ تن در سال به تفکیک ۸/۸۵ تن مربوط به سطح جاده و آبروهای کنار جاده و ۴ تن مربوط به ترانشه خاکبرداری می‌باشد. همچنین در مطالعه‌ای عبیات و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی برآورد تولید رسوب جاده با استفاده از تلفیق روش‌های نمونه گیری آماری با مدل WARSEMدر حوزه‌ای در استان تهران پرداختند. نتایج ایشان نشان داد میزان رسوب برآوردی توسط مدل ۳۳۸۴ تن در سال معادل ۱۵۷ تن بر هکتار در محدوده جاده های مطالعاتی است و بیان نمودند که مدل دارای صحت قابل قبولی است.

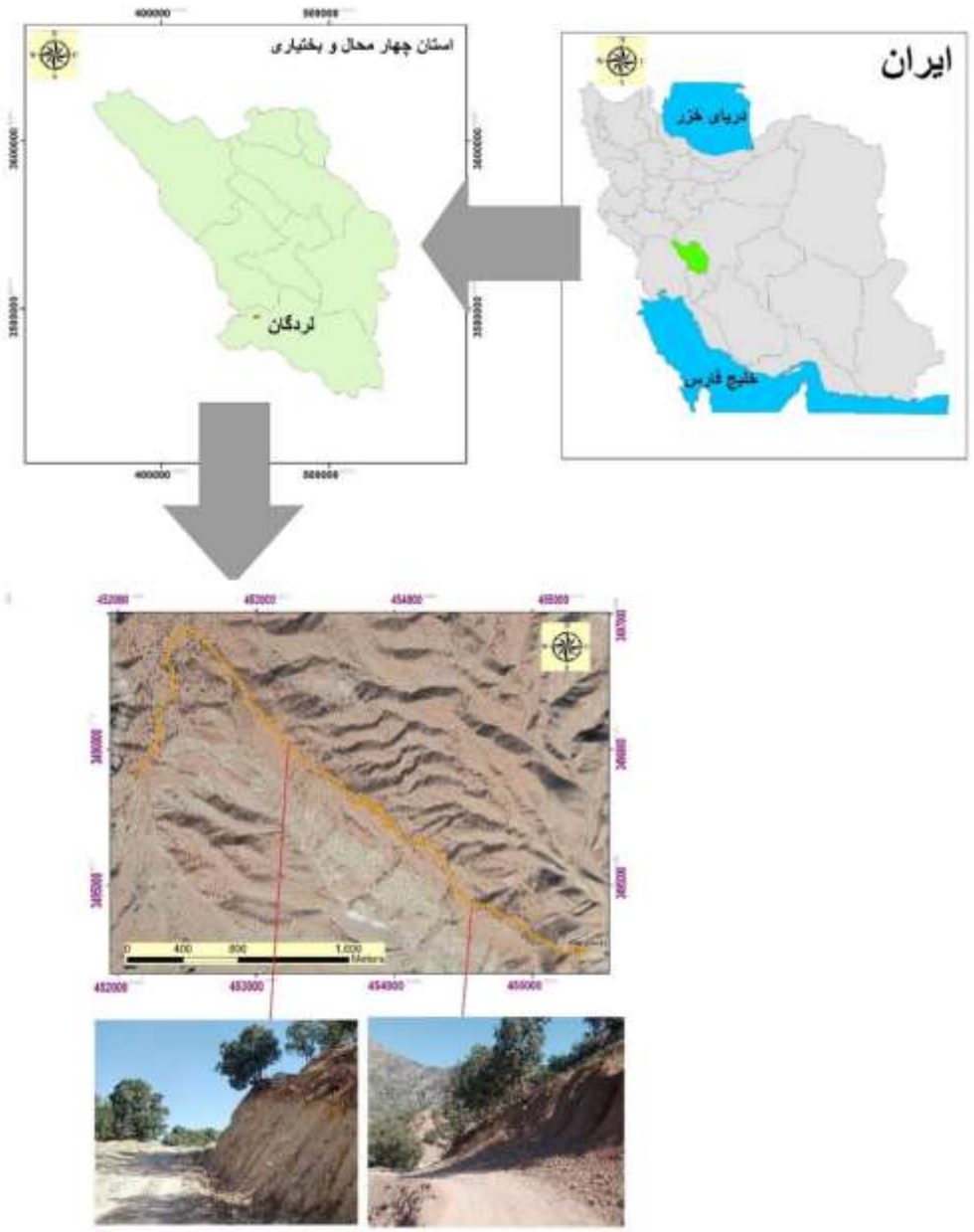
در مطالعه حاضر از مدل تحویل رسوب جاده SEDMODL و سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS به منظور تخمین رسوب‌دهی متوسط سالانه شبکه جاده‌ای در یک بازه جاده جنگلی در شهرستان لردگان، واقع در استان چهار محال و بختیاری استفاده شد. تحقیق حاضر سعی دارد به بخشی از فرسایش و تخریب خاک ناشی از احداث جاده‌های جنگلی در جنگل‌های زاگرس بپردازد. همچنین پژوهش حاضر اولین تحقیق کاربردی در جنگل‌های غرب کشور است که بر اساس مدل SEDMODL مناطق با بیشترین پتانسیل تولید فرسایش و رسوب (لکه‌های داغ) را در جاده‌های جنگلی معرفی می کند.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مرکزیت شهرکرد با مساحتی حدود ۱۶۳۲۸۳۵ هکتار بین '۹ °۳۱ تا '۴۸ °۳۲عرض شمالی و '۲۸ °۴۹ تا '۲۵ °۵۱ طول شرقی قرار دارد. این استان در میان کوه‌های زاگرس و جلگه اصفهان واقع‌شده و از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان، از جنوب به کهگیلویه و بویر احمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود است. چهارمحال و بختیاری یکی از استان‌های مرتفع کشور بوده و به همین دلیل جزء مناطق سردسیر و پر بارش ایران محسوب می‌شود. این منطقه به دلیل تنوع آب‌وهوایی نواحی هم‌جوار و تغییرات بسیار زیاد ارتفاع در قلمرو استان از شرایط اقلیمی متنوع برخوردار است. بلندترین نقطه استان قله زرد کوه با ارتفاع ۴۲۲۱ متر و پست‌ترین نقطه آن در ارمند و کنار رودخانه کارون با ارتفاعی معادل ۸۰۰ متر از سطح دریا است (Yousefi et al, 2020). در تحقیق حاضر یک بازه مطالعاتی از جاده‌های جنگلی خاکی در شهرستان کوهرنگ برای مطالعه انتخاب شد. جاده مطالعاتی بیدله از نوع خاکی با سطح شن ریزی شده به طول ۵/۸ کیلو متر می باشد که به منظور دسترسی به روستاهای منطقه و همچنین تردد عشایر احداث شده است. جاده مطالعاتی بیدله در ۳۰ کیلومتری غرب شهر لردگان و در قسمت غربی روستای بیدله از توابع شهرستان لردگان واقع شده است. این جاده پس از روستای بیدله و مسیر اصلی جاده سد کارون ۴ به سمت شمال غربی از جاده اصلی و آسفالته جدا شده و به مسیر جاده خاکی و اسفالت نشده ادامه می‌یابد. طول بازه مطالعاتی ۵۸۲۸/۶ متر است. این جاده به صورت خاکی و بستر شنی است که دارای میانگین عرض ۴/۵ متر است و در منطقه‌ای جنگلی و کوهستانی به منظور دسترسی به دکل‌های مخابراتی و خطوط انتقال نیرو امتداد می‌یابد (شکل ۱).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی جاده مطالعاتی بیدله

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ مدل SEDMODL

رسوب‌دهی از یک جاده به طور معمول تحت تأثیر سه نوع جریان آب در سطح جاده، ترانشه خاک برداری و آبراهه‌های کنار جاده است. در واقع مدل مورد استفاده در این تحقیق (SEDMODL) بر پایه این سه عامل بنا شده است (Akay et al, 2008). بنابراین مجموع رسوب‌دهی به تن در سال از هر بخش جاده بر پایه رابطه یک محاسبه می‌شود.

رابطه (۱) Total Sediment (t/year)=(TS+CS)*Af

در رابطه بالا TS رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آبراهه‌های کنار جاده، CS رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاک برداری و Af عامل سن جاده است. بر اساس رابطه ۲، TS نیز متاثر از عوامل طول جاده (Lr) ، عرض جاده (W) ، نرخ

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

فرسایش زمین‌شناسی (GEr) ، جنس سطح جاده (Sf) ، ترافیک (Tf) ، شیب جاده (Gf) ، بارندگی (Pf) و عامل تحویل رسوب (Df) است.

رابطه (۲) $TS = Lr* Wr*GEr* Sf*Tf* Gf*Pf*Df$

همچنین رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاک برداری CS بر اساس رابطه ۳، تابعی از عوامل نرخ فرسایش زمین‌شناسی (GEr)، پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده (CSf) ، ارتفاع ترانشه خاک برداری(CSh) ، طول جاده (Lr) (و عامل تحویل رسوب (Df) است.

رابطه (۳) $CS = GEr*CSf*CSh* Lr*Df$

رسوب‌دهی جاده در طول یک یا دو سال ابتدایی ساخت تا زمانی که ترانشه خاک‌برداری و پشته خاک‌ریزی به درستی توسط پوشش گیاهی تثبیت گردد، دارای بیشینه مقدار خود می‌باشد. در SEDMODL اثر عامل سن جاده (Af)، در سال اول ساخت ضریب ۱۰ و از دو سال بیشتر ضریب ۲ به خود می‌گیرد. ارزش مقادیر برای سایر عامل‌های فرسایش از جداول عرضه شده مدل که بر اساس تحقیقات پیشین محاسبه شده‌اند، کسب شد (Akay et al, 2008& Naghdi et al, 2017).

۳ـ۱ـ ۱ـ عامل نرخ فرسایش زمین شناسی GEr

پتانسیل رسوب‌دهی از یک بخش جاده وابستگی بالایی به خصوصیات خاک و زمین شناسی دارد (Yorulmaz and Gumus 2022). میزان فرسایش برای سازندهای متفاوت با استفاده از جدول ۱ و بر اساس استاندارد مدل SEDMODL مشخص شد (Parsakhoo et al. 2014&Akay et al. 2008).

جدول ۱: نرخ فرسایش زمین شناسی بر اساس سنگ شناسی و سن سازند (تن/ هکتار/ سال)

سنگ شناسی	کواترنری	ترشیاری	مزوزوئیک	پالئوزویک	پرکامبرین
دگرگونی	-	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷
شیست	-	۱۴۸	۱۴۸	۱۴۸	۱۴۸
بازالت	۳۷	۳۷	۷۴	۷۴	۷۴
آندزیت	۳۷	۳۷	۷۴	۷۴	۷۴
خاکستر آتشفشانی	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴
توف	۱۲۴	۱۲۴	۷۴	۷۴	۷۴
گابرو	-	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
گرانیت	-	۴۹	۷۴	۷۴	۷۴
سنگ‌های بیرون زده	-	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷
رسوبات سخت	-	۳۷	۳۷	۷۴	۷۴
سنگریزه	۳۷	۳۷	-	-	-
رسوبات نرم	۷۴	۷۴	-	-	-
رسوبات نرم ریزدانه	۱۴۸	۱۴۸	-	-	-

۳ـ۱ـ ۲ـ عامل جنس سطح جاده Sf

کیفیت مواد مادری سطح جاده تأثیر مستقیمی بر نرخ رسوب‌دهی دارد. در مدل مورد استفاده نرخ فرسایش سطح جاده برای کلاس‌های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است (Conroy et al, 2004& Akay et al, 2008).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

جدول ۲: نرخ فرسایش جنس سطح برای جاده‌های مختلف

نوع سطح جاده	نرخ فرسایش
آسفالت	۰/۰۳
گراول	۰/۲۰
دارای پستی و بلندی	۰/۵۰
پوشش علفی طبیعی	۰/۵۰
سطح طبیعی	۱
سطح طبیعی و وجود ریشه‌ها	۲

۳ـ۱ـ ۳ـ عامل ترافیک (Tf)

رسوب‌دهی از سطح جاده به نوع استفاده از آن و وضعیت ترافیک نیز وابسته است. عامل ترافیک از عوامل موثر در تولید رسوب می باشد(Reid & Dunne 1984). نرخ فرسایش فاکتور ترافیک در جدول ۳ برای کلاس‌های متفاوت جاده ارائه شده است. برای هرکلاس ترافیک بصورت استاندارد یک عدد اختصاص یافته که پس از قرارگیری در فرمول روش منجر به محاسبه میزان فرسایش و رسوب خواهدشد.

جدول ۳: میزان فرسایش عامل ترافیک جاده برای طبقه‌های مختلف

کلاس جاده	توضیحات	نرخ فرسایش
بزرگ راه	بزرگ راه اصلی	۱۲۰
جاده‌های اصلی	تحت استفاده زیاد در طول سال با ماشین‌های سنگین- مسیرهای ارتباطی اصلی	۱۲۰
جاده‌های شهری	جاده‌های عریض در مناطق مسکونی پر تراکم	۵۰
جاده‌های اولیه	جاده‌های با ترافیک زیاد تا متوسط در سال که بخش‌های مهم حوزه آبخیز را به هم وصل می‌کند	۱۰
جاده‌های ثانویه	جاده‌های با ترافیک سبک در سال که گاهی به‌عنوان مسیرهای چوب‌کشی و تفرج‌گاهی با ماشین-های سبک استفاده می‌شوند.	۲
جاده فرعی	جاده‌های فرعی جهت دسترسی سریعتر به یک واحد	۱
جاده‌های رها شده	جاده‌هایی که توسط خاکریزی ماشین‌های سنگین مسدود شده و مدت زیادی استفاده نمی‌شود	۰/۱

۳ـ۱ـ ۴ـ عامل شیب جاده (Gf)

نقشه شیب منطقه با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی DEM و بر اساس نقشه توپوگرافی با دقت ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مطالعاتی با اندازه پیکسل ۵ متر تهیه گردید. همچنین در محیط نرم‌افزار ARC GIS10.4 و ضریب نرخ فرسایش شیب جاده به ترتیب ۰/۲، ۱ و ۲/۵ به سه کلاس شیب کمتر از ۵/۵ تا ۱۰و بیشتر از ۱۰ درصد اختصاص یافت(Kramer, Elliot et al, 2009 & 2001).

۳ـ۱ـ ۵ـ عامل بارندگی (Pf)

میزان پتانسیل رسوب‌دهی از هر بخش جاده با میانگین بارش سالانه مرتبط است. با توجه به مدل مورد استفاده، عامل بارش بر پایه میانگین بارش سالانه بر حسب میلیمتر در حوضه طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود. در رابطه مزبور Pavr متوسط بارش سالانه است.

$$Pf = (Pavr/1542) 0.8$$ **رابطه** (۴)

۳ـ۱ـ ۶ـ عامل تحویل رسوب (Df)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

مشکل‌ترین بخش پیش‌بینی مدل تخمین درصد رسوب‌دهی از یک بخش جاده به آبراهه است. قسمت‌هایی از جاده که در فاصله بیشتری از آبراهه‌ها قرار دارند معمولاً درصد کمی از رسوب تولیدی را به آبراهه‌ها وارد می‌کنند(Akay et al, 2008& Kavian et al, 2016) اگرچه بخش زیادی از رسوب تولیدی در جاده‌های جنگلی به واسطه پوشش بالا کنترل و به آبراهه‌ها نمی‌رسد. در این مدل نرخ تحویل رسوب برای هر بخش از جاده بر پایه فاصله نقطه میانی جاده از نزدیک‌ترین آبراهه اندازه‌گیری می‌شود(Akay et al, 2008). بر اساس مدل برای بخش‌هایی از جاده که رسوب‌دهی مستقیم به آبراهه دارند و آن را قطع می‌کنند، نرخ تحویل رسوب ۱۰۰ درصد، بخش‌هایی از جاده که در فاصله ۳۰ و ۶۰ متر هستند، نرخ تحویل رسوب ۳۵ و ۱۰ درصد و فاصله بیش از ۶۰ متر به دلیل فیلتر شدن رسوبات توسط پوشش گیاهی نرخ تحویل رسوب صفر محاسبه می‌شود.

۳ـ۱ـ ۷ـ عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده (CSf)

این عامل به عنوان درصدی از پوشش سنگ یا گیاه تخریب نشده و یا ترمیم شده سطح جاده، ترانشه خاک‌برداری و ترانشه خاک-ریزی تعریف می‌شود (Sekot et al, 2021). جدول ۴ نرخ عامل پوشش گیاهی ارائه شده بر اساس درصد پوشش گیاهی و سنگ مناطق اطراف جاده را بیان می‌کند.

جدول ۴: نرخ فرسایش عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده

درصد پوشش گیاهی و سنگی	نرخ فرسایش	درصد پوشش گیاهی و سنگی	نرخ فرسایش
۱۰۰	۰/۱۰۲۳	۴۰	۰/۴۴۳۵
۹۰	۰/۱۵۰۰	۳۰	۰/۵۲۲۲
۸۰	۰/۲۰۰۳	۲۰	۰/۶۱۵۵
۷۰	۰/۲۵۴۰	۱۰	۰/۷۷۰۰
۶۰	۰/۳۱۱۶	۰	۱/۰۰۰۰
۵۰	۰/۳۷۴۲	-	-

۳ـ۱ـ ۸ـ عامل ارتفاع ترانشه خاک‌برداری (CSh)

با بالا رفتن ارتفاع ترانشه خاک‌برداری میزان رسوب‌دهی از این مناطق از طریق خزش و شستشوی ورقه‌ای خاک به درون کلنال-های آبراهه کناری افزایش می‌یابد (Burroughs and King, 1989). اندازه‌گیری این عامل امری بسیار مشکل و در بعضی مناطق غیر ممکن است (Solgi et al, 2021). بر این اساس می‌توان از نقشه شیب که در کلاس‌های متفاوت طبقه‌بندی شده است، استفاده نمود (Benda et al, 2019). نقشه شیب به ۴ کلاس ۱۵-۰، ۳۰-۱۵، ۶۰-۳۰ و بیشتر از ۶۰ درصد طبقه‌بندی شد. نرخ فرسایش بر اساس مدل SEDMODL برای هرکدام از کلاس‌ها به ترتیب ۰/۷۵، ۱/۵، ۳ و ۷/۵ متر به‌ترتیب اختصاص داده شد.

۳ـ۱ـ ۹ـ برآورد رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آبراهه‌های کناری

رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آبراهه‌های کناری (TS)با توجه به رابطه ۲ به پارامترهای مختلف مانند مشخصات مورفومتری جاده (عرض، طول، شیب)، جنس جاده، بارش و زمین شناسی منطقه وابسته است.

۳ـ۱ـ ۱۰ـ برآورد رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاکبرداری

رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاکبرداری (CS) با توجه به رابطه ۳ به پارامترهای زمین شناسی، پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده، طول جاده و عامل تحویل رسوب وابسته است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

۳ـ۲ـ اندازه گیری میدانی فرسایش و رسوب جاده‌های جنگلی

به منظور اندازه گیری میدانی فرسایش و رسوب در جاده جنگلی موردنظر، ۳۰ پیکه چوبی در اطراف جاده نصب شد (شکل ۲). پیکه‌های اندازه‌گیری درمقاطع عمود بر جاده در شرایط متنوع زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و شیب جاده بیدله و در دو طرف جاده به فواصل ۵ متر، ۱۵ متر و ۲۵ متر نصب شدند. سپس با استفاده از یک متر لیزری با دقت ۰/۰۲ میلیمتر ارتفاع هر پیکه اندازه گیری شد. ارتفاع هر پیکه به صورت ۵ تکرار اندازه‌گیری و میانگین این ۵ تکرار به عنوان ارتفاع پیکه در هر مرحله تعیین شد. میزان فرسایش براساس تغییرات ارتفاع پیکه‌ها در دوره‌های مختلف اندازه‌گیری تعیین می گردد. افزایش طول پیکه به معنای تخلیه رسوب وکاهش طول پیکه به معنای تجمع رسوب درپای آن می باشد. اندازه گیری ارتفاع (طول قابل مشاهده)هرپیکه بصورت فصلی انجام گردیده و دراین مقاله از نتایج یکساله استفاده شده است.



شکل۲: اندازه‌گیری میدانی فرسایش و رسوب به کمک پیکه‌های فرسایشی در منطقه

۴- نتایج و بحث

۴ـ۱ـ نتایج مدل SEDMODEL

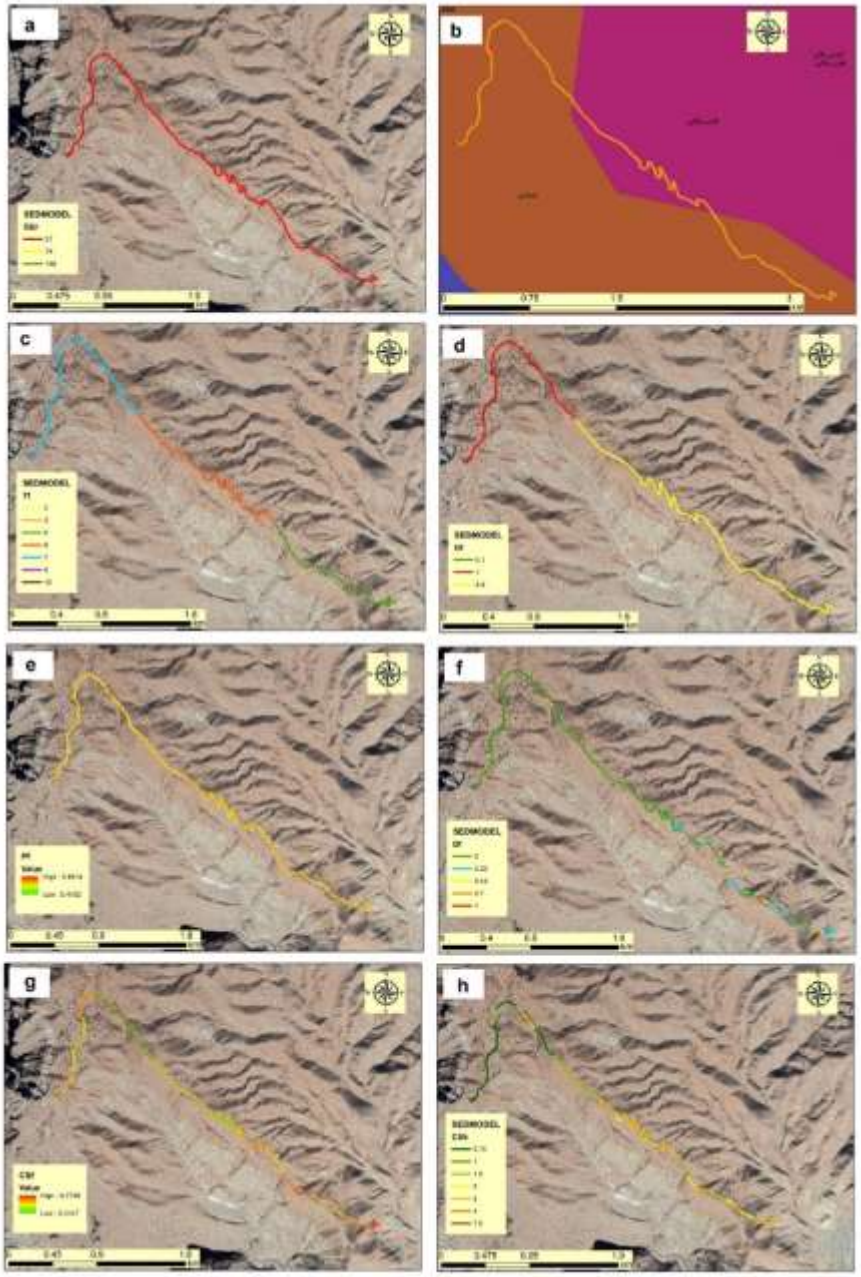
در این تحقیق نقشه‌های مورد نیاز شامل زمین شناسی، جاده، شیب، بارندگی و شبکه آبراهه با استفاده از نقشه‌های پایه توپوگرافی، زمین شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و همچنین بازدید های میدانی مربوط به سازمان‌های مربوطه تهیه و در محیط GIS رقومی‌شد. در مرحله بعد طی‌بازدیدهای میدانی عامل‌های جنس سطح جاده، ترافیک، ارتفاع ترانشه خاکبرداری استخراج گردید(جدول ۵). لایه رقومی آبراهه‌ها از نقشه توپوگرافی موجود در منطقه استخراج وبا بازدیدهای میدانی خطاهای احتمالی رفع شد. همچنین نقشه شیب منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده از لایه توپوگرافی تعیین شد. به منظور تهیه نقشه بارش از میانگین سالانه ایستگاه‌های مجاور جاده‌های جنگلی استفاده و لایه هم بارش سالانه برای هر منطقه تهیه شد. به این ترتیب عامل نرخ فرسایش زمین شناسی GEr، عامل ترافیک Tf، عامل شیب جاده Gf، عامل بارش Pf، عامل تحویل رسوب Df، عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده CSf و عامل ارتفاع ترانشه خاکبرداری Chf برای جاده مطالعاتی بیدله به صورت برداری و رقومی تعیین گردید (شکل ۳).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

جدول ۵: مشخصات و ویژگی‌های جاده بیدله

نام جاده	شهرستان	طول جاده (متر)	میانگین عرض جاده (متر)	ترافیک (میانگین تردد در ساعت)	سن جاده (سال)	نوع مواد سطحی جاده	نوع جاده (بر اساس مدل)
بیدله	لردگان	۵۸۲۸/۶	۴/۵	۴	۲۱	شن ریزی+مواد طبیعی	گراول



شکل۳: نقشه عامل نرخ فرسایش زمین شناسی GEr (a)، سازندهای زمین شناسی منطقه (b)، عامل ترافیک Tf (c)، عامل شیب جاده Gf (d)، عامل بارش Pf (e)، عامل تحویل رسوب Df (f)، عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده CSf (g) و عامل ارتفاع ترانشه خاکبرداری Chf (h) برای جاده مطالعاتی بیدله

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

بر اساس عامل‌های تهیه شده مربوط به مدل که به صورت رقومی و در جاده مطالعاتی تهیه شد در نهایت رسوب‌دهی سطح جاده و رسوب‌دهی ترانشه خاکبرداری به تفکیک بازه مطالعاتی تعیین و استخراج شد (جدول ۶). همچنین رسوب‌دهی کل جاده مطالعاتی بر اساس مدل SEDMODL از مجموع رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آبراهه‌های کناری (TS) و رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاکبرداری (CS) که این مقدار در مقدار عامل سن (Af) جاده ضرب تعیین گردید (جدول ۶). نتایج اندازه‌گیری پیکه‌های فرسایشی نشان داد میانگین فرسایش خاک در اطراف جاده مطالعاتی بیدله ۴ میلیمتر در سال است. بعبارتی سالانه نرخ فرسایش میانگین و تخلیه رسوب از سطح زمین و از پای پیکه‌ها معادل ۴ میلیمتر می‌باشد. همانطور که نتایج این تحقیق نشان داد مدل SEDMODL توانمندی بالایی در شناسایی مناطق حساس به فرسایش و بر آورد نرخ رسوب‌دهی ناشی از جاده‌های جنگلی دارد. نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های (Akay et al, 2008) که بیان نمودند مدل SEDMODL قابلیت بالایی در برآورد میزان فرسایش و رسوب جاده‌های جنگلی دارد همخوانی دارد. به عبارت دیگر می‌توان بیان نمود که جاده‌های جنگلی درصد کمی از مساحت حوزه آبخیز را در بر می‌گیرند اما مقدار رسوب تولید آن‌ها به مراتب بیشتر است. این نسبت اهمیت توجه به رعایت اصول صحیح در جاده‌سازی، طراحی شبکه مناسب مانند حفاظت از دامنه خاک‌برداری با استفاده از شبکه‌های توری و بوته کاری، کمینه کردن طول جاده‌ها و مدیریت صحیح جاده‌ها به منظور به کمینه رساندن فرسایش خاک و رسوب در این مناطق را نمایان می‌سازد(Parsakhoo et al, 2014). بیشترین میزان آسیب‌پذیری جاده در تخریب دامنه‌ها را مربوط به مناطق با شیب زیاد و پوشش گیاهی تخریب شده میداند. همچنین (Sekot et al, 2021) بیان نمودند که شرایط زمین شناسی و سازندهای حساس به فرسایش بیشترین نقش را در تولید رسوب جاده‌های جنگلی دارند که با یافته‌های تحقیق حاضر همخوانی دارد.

جدول ۶: برآورد رسوب‌دهی کل مدل تحویل رسوب SEDMODL در جاده بیدله

جاده	طول جاده	Af	TS (ton/year)	CS (ton/year)	Total Sediment (ton/year)
بیدله	۵۸۲۸	۲	۱۰۳/۸	۱۳/۳	۲۳۴

۴ـ ۲ـ آنالیز آماری

به منظور مطالعه و بررسی نقش و میزان تأثیر پارامترهای اندازه‌گیری شده و ورودی به مدل بر میزان فرسایش، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده و نتایج آن در جدول (۷) ارائه شده است. همانگونه که نتایج آزمون آماری همبستگی نشان می‌دهد قویترین همبستگی معنی‌داری بین میزان فرسایش کل جاده با عامل زمین شناسی، عرض جاده و عامل بارش وجود دارد. همان طور که ذکر شد با احداث جاده پوشش گیاهی و خاک مناطق اطراف جاده نیز بر اثر خاکبرداری و خاکریزی دچار تغییر می‌شوند. برای جبران این تغییرات و بازگشت به شرایط اولیه، اکوسیستم نیاز به زمان دارد. بدیهی است که هر چه عمر این تغییرات ایجاد شده بیشتر باشد اکوسیستم به حالت پایدار نزدیکتر شده و مقدار فرسایش و تخریب خاک آن نیز کمتر است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

جدول ۶: نتایج آنالیز همبستگی پیرسون

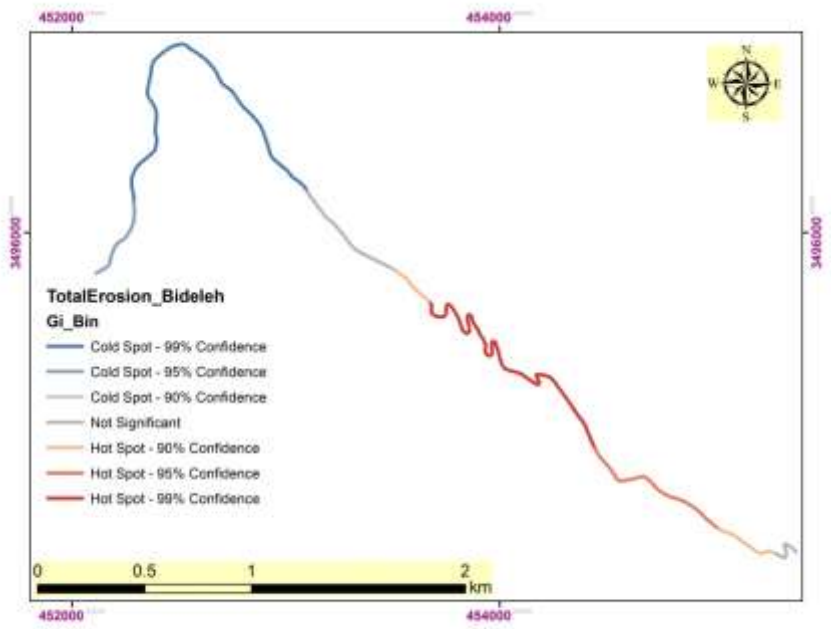
		TotalE	GEr	CSh	CSf	Pf	Gf	Tf	Sf	W	Lr
TotalE	Pearson Correlation	1	.882**	.250**	.079	.393**	.269**	.328**	.247**	.493**	-.080
	Sig.		.000	.000	.064	.000	.000	.000	.000	.000	.062
	N	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370

Correlation is significant at the 0.01 level .**

Correlation is significant at the 0.05 level .*

۴ـ ۳ـ شناسایی مناطق با خطر زیاد فرسایش و رسوب جاده ای

نخستین مرحله در تحلیل فضایی، شناسایی ساختار پراکندگی و لکه داغ داده‌ها است. در این قسمت از تحقیق از روش آنالیز آماری Hotspot analysis در نرم افزار GIS 10.8 استفاده شد. این ابزار برای نقاطی که دارای یک ویژگی عددی باشند (مثل میزان فرسایش و یا رسوب‌دهی خاک) یا وزن عوارض بکار گرفته می‌شود. نتیجه آن به صورت یک نقشه خواهد بود که بیانگر لکه‌های داغ و سرد است که دارای ویژگی‌های آماری قابل توجهی باشند. تحلیل‌ها بر اساس آماره Getis ord GI ایجاد می‌شود. در این تحقیق برای شناسایی مناطق با میزان فرسایش زیاد (نقاط داغ فرسایشی جاده‌ها) از این آنالیز استفاده شد (شکل ۴). همچنین نتایج این بخش از تحقیق نشان داد با درجه اطمینان بالای ۹۵ درصد (Confidence level >95%) برای جاده بیدله ۳۹/۸ درصد (۲۳۲۱ متر) از جاده به عنوان مناطق با تولید فرسایش بسیار زیاد و به عنوان لکه داغ مشخص می‌شود. بر اساس نقشه‌های تولیدی در این بخش از کار مشخص شد در مناطق با شیب زیاد و حساس از نظر زمین شناسی میزان فرسایش خاک بیشتر است و این قسمت‌ها بیشترین نقش را در تولید رسوب منطقه دارند.



شکل۴: نقشه آنالیز لکه داغ میزان فرسایش جاده بیدله

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

همانطور که نتایج این تحقیق نشان داد مدل SEDMODL توانمندی بالایی در شناسایی مناطق حساس به فرسایش و بر آورد نرخ رسوب‌دهی ناشی از جاده‌های جنگلی دارد. نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های Akay و همکاران (۲۰۰۸) ، که بیان نمودند مدل SEDMODL قابلیت بالایی در برآورد میزان فرسایش و رسوب جاده‌های جنگلی دارد همخوانی دارد. همچنین یافته‌های تحقیق حاضر با نتایج اسدالهی و همکاران (۱۳۹۳) که بیان نمودند جاده‌های خاکی و جنگلی به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی و حفاظت خاک دارای نقش قابل توجهی در تولید رسوب حوزه‌های آبخیز دارند در یک راستا می‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان بیان نمود که جاده‌های جنگلی درصد کمی از مساحت حوزه آبخیز را در بر می‌گیرند اما مقدار رسوب تولید آن‌ها به مراتب بیشتر است. این نسبت اهمیت توجه به رعایت اصول صحیح در جاده‌سازی، طراحی شبکه مناسب مانند حفاظت از دامنه خاک-برداری با استفاده از شبکه‌های توری و بوته کاری، کمینه کردن طول جاده‌ها و مدیریت صحیح جاده‌ها به‌منظور به حداقل رساندن فرسایش خاک و رسوب در این مناطق را نمایان می‌سازد. Parsakhoo و همکاران (۲۰۱۴) بیشترین میزان آسیب‌پذیری جاده در تخریب دامنه‌ها را مربوط به مناطق با شیب زیاد و پوشش گیاهی تخریب شده می‌داند. همچنین Sekot و همکاران (۲۰۲۱) بیان نمودند که شرایط زمین شناسی و سازندهای حساس به فرسایش بیشترین نقش را در تولید رسوب جاده‌های جنگلی دارند که با یافته‌های تحقیق حاضر همخوانی دارد.

منابع

1. Abiat, S., Arabkhedri, M., & Ahmadi, A. (2015). Estimation of sediment yield in roads by combining survey sampling design and WARSEM. 28(108), 13. Available from: https://www.sid.ir/fA/Journal/ ViewPaper.aspx?id=296978. (in persion)
2. Akay, A. E., Erdas, O., Reis, M., & Yuksel, A. (2008). Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques. Building and Environment, 43(5), 687-695.
3. Determination of roads quota in watershed sediment yield using SEDMODEL and GIS. (2013). Environmental Erosion Researches, 3(2), 52-64. https://www.magiran.com/paper/1284019 (in persion)
4. Barber, C. P., Cochrane, M. A., Souza Jr, C. M., & Laurance, W. F. (2014). Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. Biological conservation, 177, 203-209.
5. Benda, L., James, C., Miller, D., & Andras, K. (2019). Road Erosion and Delivery Index (READI): A model for evaluating unpaved road erosion and stream sediment delivery. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *55*(2), 459-484.
6. Burroughs Jr, E. R., & King, J. G. (1989). Reduction of soil erosion on forest roads. Gen Tech Rep - US Dep Agric For Serv. 264.
7. Cao, L., Elliot, W., & Long, J. W. (2021). Spatial simulation of forest road effects on hydrology and soil erosion after a wildfire. *Hydrological Processes*, *35*(6), e14139.
8. Cerdà, A. (2007). Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. *Science of the total environment*, *378*(1-2), 151-155.
9. Conroy, W. J., Dubé, K. V., & Koler, T. E. (2000). Comparison of methods to evaluate surface erosion from logging roads using watershed analyses. In *Watershed Management and Operations Management 2000* (pp. 1-10).
10. Elliot, W. J., Foltz, R. B., & Robichaud, P. R. (2009, July). Recent findings related to measuring and modeling forest road erosion. In *18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on modelling and simulation* (pp. 13-17). Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand; and International Association for

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

Mathematics and Computers in Simulation: Cairns, Australia.
11. Gayen, A., Pourghasemi, H. R., Saha, S., Keesstra, S., & Bai, S. (2019). Gully erosion susceptibility assessment and management of hazard-prone areas in India using different machine learning algorithms. *Science of the total environment*, *668*, 124-138.
12. Hawks, B. S., Aust, W. M., Bolding, M. C., Barrett, S. M., Schilling, E., & Fielding, J. A. (2022). Linkages between forestry best management practices and erosion in the southeastern US. *Journal of Environmental Management*, *305*, 114411.
13. Kavian, A., Safari, A., & Parsakhoo, A. (2016). Assessment of forest roads sediment yield using WARSEM, SEDMODL and direct measurement through rainfall simulation. *Journal of Range and Watershed Managment*, *69*(1), 167-186.
14. Kramer, B. W. (2001). Forest road contracting, construction, and maintenance for small forest woodland owners.
15. Moayedi, H., Mehrabi, M., Mosallanezhad, M., Rashid, A. S. A., & Pradhan, B. (2019). Modification of landslide susceptibility mapping using optimized PSO-ANN technique. *Engineering with Computers*, *35*, 967-984.
16. Naghdi, R., Dalir, P., Gholami, V., & Pourghasemi, H. R. (2017). Modeling of sediment generation from forest roads employing SEDMODL and its calibration for Hyrcanian forests in northern Iran. *Environmental Earth Sciences*, *76*, 1-12.
17. Parsakhoo, A., Lotfalian, M., Kavian, A., & Hosseini, S. A. (2014). Prediction of the soil erosion in a forest and sediment yield from road network through GIS and SEDMODL. *International Journal of Sediment Research*, *29*(1), 118-125.
18. Reid, L. M., & Dunne, T. (1984). Sediment production from forest road surfaces. *Water Resources Research*, *20*(11), 1753-1761.
19. Rijsdijk, A., Bruijnzeel, L. S., & Sutoto, C. K. (2007). Runoff and sediment yield from rural roads, trails and settlements in the upper Konto catchment, East Java, Indonesia. *Geomorphology*, *87*(1-2), 28-37.
20. Habibzadeh, A., & Majidi, A. (2021). Estimating sediment yield from a forest road network using SEDMODEL and GIS technique (case study Arasbaran forests). *ECOPERSIA*, *9*(4), 235-249.
21. Seutloali, K. E., & Beckedahl, H. R. (2015). A review of road-related soil erosion: an assessment of causes, evaluation techniques and available control measures. *Earth Sciences Research Journal*, *19*(1), 73-80.
22. Sidle, R. C., Ziegler, A. D., Negishi, J. N., Nik, A. R., Siew, R., & Turkelboom, F. (2006). Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest ecology and management*, *224*(1-2), 199-225.
23. Solgi, A., Naghdi, R., Zenner, E. K., Hemmati, V., Behjou, F. K., & Masumian, A. (2021). Evaluating the effectiveness of mulching for reducing soil erosion in cut slope and fill slope of forest roads in Hyrcanian Forests. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, *42*(2), 259-268.
24. Sun, G., & McNulty, S. G. (1998, February). Modeling soil erosion and transport on forest landscape. In *Proceedings of conference* (Vol. 29, pp. 187-198).
25. Vahabzadeh, G., Safari, A., Farhoudi, M. H., Abdollahi, H. R., Fathizad, H., & Khosravi, G. R. (2015). Assessment of Erosion Value and Sediment Delivery Ratio in the Unsealed and Forest Roads. *JWSS-Isfahan University of Technology*, *18*(70), 295-313.
26. Varol T, Ertuğrul M, Özel HB, Emir T& Çetin M. 2019. The effects of rill erosion on unpaved forest road. Appl Ecol Environ Res. 17:825–839.
27. Mısırlıoğlu, G., Gümüş, S., & Yoshimura, T. (2022). Comparison of WEPP: Road Batch Model and ABAG Model for Estimating Amount of Top Soil Erosion in Forest Road Fill Slopes. *European Journal of Forest Engineering*, *8*(1), 26-34.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]

28. Yousefi, S., Moradi, H., Boll, J., & Schönbrodt-Stitt, S. (2016). Effects of road construction on soil degradation and nutrient transport in Caspian Hyrcanian mixed forests. *Geoderma, 284*, 103-112.
29. Yousefi, S., Pourghasemi, H. R., Emami, S. N., Pouyan, S., Eskandari, S., & Tiefenbacher, J. P. (2020). A machine learning framework for multi-hazards modeling and mapping in a mountainous area. *Scientific Reports*, *10*(1), 12144.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.3]